半胱胺对冬毛期雄性水貂生产性能、营养物质消化率及氮代谢的影响

樊燕燕　孙伟丽　王　卓　孙皓然　刘　志　杨　福　李光玉*

（中国农业科学院特产研究所，吉林省特种经济动物分子生物学国家重点实验室，长春　130112）

摘　要：本试验旨在研究半胱胺对冬毛期雄性水貂生产性能、营养物质消化率及氮代谢的影响。试验采用双因子试验设计，影响因素为半胱胺添加水平和添加方式。选取 167 日龄、体重相近的健康雄性水貂 56 只，随机分为 7 组，每组 8 个重复，每个重复 1 只。Ⅰ组（对照组）饲喂基础饲粮，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组分别饲喂在基础饲粮基础上添加 60、90、120 mg/kg 半胱胺的试验饲粮，半胱胺添加方式为连续添加，Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组试验饲粮分别同Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组，半胱胺添加方式为间隔添加（连续添加 1 周，间隔 1 周）。预试期 7 d，正试期 51 d。结果表明：1）Ⅲ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组的平均日增重极显著高于对照组和Ⅳ组（P<0.01），料重比极显著低于对照组和Ⅳ组（P<0.01）；间隔添加组的平均日增重、料重比极显著优于连续添加组（P<0.01）；90 mg/kg 组料重比极显著低于 120 mg/kg 组（P<0.01）。各半胱胺添加组的毛皮品质均有所改善，Ⅵ、Ⅶ组皮长及针毛、绒毛长度显著高于对照组（P<0.05），间隔添加组针毛长度极显著高于连续添加组（P<0.01），90 mg/kg 组针毛长度显著高于 60 和 120 mg/kg 组（P<0.05）。半胱胺添加水平和添加方式的交互作用对平均日增重、料重比及针毛、绒毛长度产生了显著或极显著影响（P<0.05 或 P<0.01）。2）各半胱胺添加组粗蛋白质消化率均极显著高于对照组（P<0.01），干物质、粗脂肪消化率各组间无显著差异（P>0.05）。3）各半胱胺添加组粪氮排出量较对照组显著或极显著降低（P<0.05 或 P<0.01），Ⅵ组氮沉积显著高于对照组及Ⅱ、Ⅳ组（P<0.05），间隔添加组氮沉积、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值较连续添加组显著升高（P<0.05）。由此可见，饲粮

收稿日期：2016-04-13

基金项目：中国农业科学院科技创新工程经费资助项目

作者简介：樊燕燕（1990—），女，河南洛阳人，硕士研究生，研究方向为野生动植物保护与利用。E-mail: fyy900905@126.com

*通信作者：李光玉，研究员，博士生导师，E-mail: tcslgy@126.com

添加半胱胺能够促进冬毛期雄性水貂的生长，并提高毛皮品质、营养物质消化率及氮代谢。综合考虑各项指标，在本试验条件下，冬毛期雄性水貂饲粮中半胱胺的最适添加水平为 90 mg/kg，添加方式为间隔添加（连续添加 1 周，间隔 1 周）。

关键词：水貂；半胱胺；生产性能；营养物质消化率；氮代谢

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

随着毛皮动物养殖业的不断发展，我国已成为毛皮养殖大国，但与北欧和北美养殖先进国家相比，产品质量仍存在一定的差距，综合分析各因素，配合饲料配制技术的缺乏是导致产品质量不乐观的直接原因，也是目前我国毛皮动物养殖业亟待解决的问题。水貂属食肉目动物，对蛋白质需求较高，导致产生高含氮排泄物，引起环境污染。因此，采取营养调控技术，优化饲料原料，降低生产成本是毛皮动物生产面临的一大问题；同时，在保证提高动物生产性能、节约蛋白质饲料的同时，对环境保护也具有重大的意义。饲料添加剂是指在饲料生产加工、使用过程中添加的少量或微量营养性或非营养性物质，在饲料中用量很少但作用显著。饲料添加剂是配合饲料原料的三大支柱之一，具有提高饲料转化率，促进动物正常生长发育，提高免疫力等多种作用[1]。饲料添加剂在毛皮动物领域的应用起步较晚，但通过这种微量或少量的营养性或非营养性物质的添加来满足动物某种特殊需要必不可少。除此之外，毛皮动物最终以毛皮品质取胜，皮张大小、毛绒长度及细度是评价毛皮质量的决定因素。因此，寻找一种提高毛皮动物生产性能的饲料添加剂至关重要。

半胱胺（cysteamine,CS）作为一种功能性饲料添加剂，因其具有活性巯基和氨基，在动物体内发挥重要的作用[2]，主要表现在调节内分泌功能上，通过耗竭生长抑素（SS）来促进动物的生长[3]，这在鸡、猪等畜禽及水产动物生产上已得到证实[4]。此外，半胱胺在生产上无种属特异性，价格低廉，应用范围广，目前在畜禽养殖上已得到广泛应用，是一种较为理想的生长促进剂。在毛皮动物上的研究报道，饲粮添加半胱胺可以促进水貂[5]和银狐[6]、貉[7]的生长，提高其饲料转化率，同时对银狐产仔率也有一定的改善作用[6]，但有关半胱胺对冬毛期雄性水貂

生产性能的影响鲜有报道。因此，根据以上背景，结合水貂的生理特点及半胱胺的作用机理开展本试验，目的在于综合评定半胱胺对冬毛期雄性水貂生产性能、营养物质消化率及氮代谢的影响，为半胱胺在水貂生产上的合理使用提供理论参考。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验所用半胱胺购自上海华扩达生物技术有限公司，其主要成分为β-环糊精、半胱胺盐酸盐、生育酚和多聚烟酸铬，半胱胺有效成分≥30%，该产品采用超分子、多层仿生物膜技术及维持生理稳态技术处理，具有一定的稳定性。

1.2　试验设计与饲养管理

本试验于 2014 年 10 月 4 日至 2014 年 11 月 29 日在中国农业科学院特产研究所毛皮动物试验基地进行。试验采用双因子试验设计，影响因素为半胱胺添加水平和添加方式。选取 167 日龄、体重相近[（2.13±0.10） kg]的健康雄性水貂 56 只，随机分为 7 组，每组 8 个重复，每个重复 1 只。水貂在我国目前没有统一的饲养标准，本试验基础饲粮营养水平参照 NRC（1982）[8]中有关貂营养需要量的研究结果进行设计，其组成及营养水平见表 1。在基础饲粮基础上分别添加 0（I组，作为对照组）、60（II组）、90（III组）、120（IV组）、60（V组）、90（VI组）、120 mg/kg（VII组）的半胱胺制备试验饲粮，其中，II、III、IV组添加方式为连续添加，V、VI、VII组添加方式为间隔添加（连续添加 1 周，间隔 1 周）。预试期 7 d，正试期 51 d。试验动物采取单笼饲养，由专人进行饲养管理，每日 08:00 和 15:00 各饲喂 1 次，自由采食并保证充足饮水。正式试验开始后，每隔 15 d 于早晨空腹称重，同时观察试验动物健康状况并做好记录。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
海鲶鱼 Catfish	8.91

安康鱼 Anglerfish	9.90
鸡肝 Chicken liver	11.88
鸡骨架 Chicken skeleton	27.72
鸡腺胃 Glandular stomach	20.79
膨化玉米 Extruded corn	19.80
预混料 Premix[1)]	1.00
合计 Total	100.00
营养成分 Nutrient levels[2)]	
干物质 DM	28.09
粗蛋白质 CP	39.21
粗脂肪 EE	20.45
代谢能 ME/(MJ/kg)	16.51
钙 Ca	2.01
磷 P	1.30

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 10 000 IU，VD_3 2 000 IU，VE 100 IU，VB_1 6 mg，VB_2 10 mg，VB_6 6 mg，VB_{12} 0.1 mg，VK_3 1 mg，VC 400 mg，烟酸 nicotinic acid 30 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 40 mg，生物素 biotin 0.2 mg，叶酸 folic acid 1 mg，胆碱 choline 400 mg，Fe 82 mg，Cu 20 mg，Mn 120 mg，Zn 50 mg，I 0.5 mg，Se 0.2 mg，Co 0.3 mg。

[2)] 代谢能为计算值，其他为实测值。ME was a calculated values, while others were measured values.

1.3 消化代谢试验

正试期开始 20 d 后，每组挑选 6 只体重相近、采食正常的健康雄性水貂进行消化代谢试验。消化代谢试验期间饲养管理与日常饲养管理完全相同。采用全收粪法收集每只水貂连续 4 d 的粪便和尿液，尿液收集前于收集桶中加入 20 mL 10%的硫酸固氮。消化代谢试验结束后，将每只水貂的尿液各自混匀并过滤收集于 10 mL 离心管中，按每组每只做好标记，-20 ℃保存备用；同时将每只水貂的粪便各自均匀混合后，取 200~300 g 经 10%的硫酸处理后，于 65 ℃烘干，粉碎过 40 目筛后收集于 5 号自封袋中，按每组每只做好标记，于常温干燥处保存备用。

1.4 屠宰试验

饲养试验结束后，采用皮下注射氯化琥珀胆碱的方法对试验动物实施安乐死，取皮后上楦板，由鼻尖到尾根测定皮长，并用精密刻度尺测量背中部毛皮的针毛、绒毛长度。

1.5 指标测定

正试期开始后，每隔 15 d 于早饲前对试验动物进行称重，记录其体重，进而计算整个试验期水貂平均日增重；同时试验期间每日准确称量每只水貂给料量和剩料量，计算每只水貂每天采食量，进而计算整个试验期水貂平均日采食量；根据平均日采食量、平均日增重计算料重比。饲粮和粪样中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分以及尿样中粗蛋白质含量的测定参照张丽英[9]的方法。平均日增重、平均日采食量、营养物质消化率、氮沉积、净蛋白质利用率及蛋白质生物学价值的计算公式如下：

平均日增重（g/d）=（末重-初重）/试验天数；

平均日采食量（g/d）=试验期总采食量/试验天数；

料重比=平均日采食量/平均日增重；

干物质消化率（%）=[（干物质采食量-干物质排出量）/干物质采食量]×100；

粗蛋白质消化率（%）=[（粗蛋白质摄入量-粗蛋白质排出量）/粗蛋白质摄入量]×100；

粗脂肪消化率（%）=[（粗脂肪摄入量-粗脂肪排出量）/粗脂肪摄入量]×100；

氮沉积(g/d)=食入氮-粪氮排出量-尿氮排出量；

净蛋白质利用率（%）=（沉积氮/食入氮）×100；

蛋白质生物学价值（%）=[氮沉积/（食入氮-粪氮排出量）]×100。

1.6 数据分析与处理

数据采用统计软件 SAS 9.1 进行单因素方差分析（one-way ANOVA），有差异显著时采用 Duncan 氏法进行多重比较，再采用 GLM 程序对数据进行多因素统计分析，数据以平均值±标准差表示，其中 P>0.05 为差异不显著，P<0.05 为差异显著，P<0.01 差异极显著。

2 结　果

2.1　半胱胺对冬毛期雄性水貂生产性能的影响

由表 2 可知，与对照组相比，饲粮添加半胱胺极显著降低了冬毛期雄性水貂的料重比（*P*<0.01），同时不同程度提高了平均日增重，其中与Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组差异达极显著水平（*P*<0.01）。此外，Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组平均日增重极显著高于Ⅳ组（*P*<0.01），料重比极显著低于Ⅳ组（*P*<0.01）。半胱胺添加方式极显著影响水貂的末重、平均日增重和料重比（*P*<0.01），均以间隔添加组效果最好。半胱胺添加水平对料重比产生了极显著影响（*P*<0.01），90 mg/kg 组极限著低于 120 mg/kg 组（*P*<0.01）。半胱胺添加方式和添加水平的交互作用对冬毛期雄性水貂的平均日增重、料重比产生了显著影响（*P*<0.05）。

表 2　半胱胺对冬毛期雄性水貂生长性能的影响

Table 2　Effects of cysteamine on growth performance of male minks in fur development period

项目 Items		始重 IW/g	末重 FW/g	平均日增重 ADG/(g/d)	平均日采食量 ADFI/(g/d)	料重比 F/G
组别 Groups	I	2 165.50±76.73	2 318.60±47.00^{BCcd}	3.82±0.46^{Cc}	105.67±4.20	26.92±2.96^{Aa}
	II	2 125.20±53.45	2 344.00±175.53^{BCbcd}	5.99±1.54^{ABb}	103.17±3.02	15.96±1.50^{Cc}
	III	2 143.00±55.81	2 410.83±105.76^{ABCabcd}	6.81±1.29^{Aab}	105.36±4.03	15.27±2.25^{Cc}
	IV	2 095.14±77.55	2 289.29±184.69^{Cd}	4.58±0.98^{BCc}	107.33±5.46	22.37±2.97^{Bb}
	V	2 125.14±148.59	2 439.17±139.81^{ABCabc}	6.59±1.37^{Aab}	110.35±4.03	15.90±2.47^{Cc}
	VI	2 181.20±47.77	2 548.50±112.61^{Aa}	7.84±1.07^{Aa}	104.99±7.29	13.73±2.97^{Cc}
	VII	2 114.75±69.04	2 489.86±79.10^{ABab}	7.99±1.96^{Aa}	107.29±4.72	14.01±3.88^{Cc}
添加方式 Supplemental way	连续 Continuous	2 120.94±64.10	2 348.22±159.72^{B}	5.78±1.55^{B}	105.29±4.39	17.87±3.95^{A}
	间隔 Interval	2 138.59±100.07	2 490.07±117.03^{A}	7.46±1.60^{A}	107.54±5.66	14.55±3.13^{B}
添加水平 Supplemental level/(mg/kg)	60	2 125.17±110.74	2 394.76±159.35	6.31±1.43	106.76±5.06	15.93±1.95^{ABab}
	90	2 160.83±54.08	2 475.08±126.81	7.29±1.27	105.17±5.62	14.50±2.64^{Bb}
	120	2 104.95±71.65	2 389.57±171.95	6.28±2.31	107.31±4.87	18.19±5.47^{Aa}

P 值 P-value	组别 Group	0.469 3	0.002 9	<0.000 1	0.270 9	<0.000 1
	添加方式 Supplemental way	0.442 9	0.001 0	0.000 2	0.181 6	0.001 1
	添加水平 Supplemental level	0.174 6	0.134 6	0.077 8	0.553 5	0.009 9
	添加方式×添加水平 Supplemental way × supplemental level	0.824 9	0.567 2	0.017 4	0.125 1	0.002 1

同一项目同列数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(*P*>0.05)，不同小写字母表示差异显著(*P*<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(*P*<0.01)。下表同。

In the same column and the same item, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (*P*<0.01). The same as below.

由表 3 可知，与对照组相比，饲粮添加半胱胺后，冬毛期雄性水貂的皮长及针毛、绒毛长

度均有不同程度增加。皮长随着添加水平的升高而增大，Ⅵ、Ⅶ组显著高于对照组（P<0.05）；针毛、绒毛长度以Ⅵ、Ⅶ组添加效果较好，分别以极显著（P<0.01）和显著水平（P<0.05）高于对照组、Ⅳ组。在添加方式上，间隔添加组针毛长度极显著高于连续添加组（P<0.01）；在添加水平上，90 mg/kg 组针毛长度显著高于 60 和 120 mg/kg 组（P<0.05）。半胱胺添加方式和添加水平的交互作用对针毛、绒毛长度分别产生了极显著（P<0.01）和显著（P<0.05）影响。

表 3　半胱胺对冬毛期雄性水貂毛皮质量的影响

Table 3　Effects of cysteamine on fur quality of male minks in fur development period　cm

项目 Items		皮长 Skin length	针毛长度 Aciculum length	绒毛长度 Villus length
组别 Groups	I	57.30±1.77^{c}	22.01±0.98^{BCde}	16.09±0.65^{b}
	II	58.43±2.15^{bc}	22.89±0.98^{ABCbcd}	16.57±0.45^{ab}
	III	58.83±1.94^{bc}	23.31±1.09^{ABabc}	16.44±0.20^{ab}
	IV	59.50±2.43^{abc}	21.73±0.66^{Ce}	16.12±0.68^{b}
	V	59.00±1.13^{abc}	22.29±0.84^{BCcde}	16.14±0.23^{b}
	VI	59.92±1.34^{ab}	23.91±1.11^{Aab}	16.89±0.68^{a}
	VII	61.21±2.58^{a}	24.08±0.91^{Aa}	16.79±0.69^{a}
添加方式 Supplemental way	连续 Continuous	58.94±2.13	22.63±1.12^{B}	16.37±0.50
	间隔 Interval	60.05±1.98	23.40±1.24^{A}	16.60±0.64
添加水平 Supplemental level/(mg/kg)	60	58.73±1.65	22.57±0.93^{b}	16.34±0.40
	90	59.34±1.72	23.61±1.11^{a}	16.67±0.53
	120	60.36±2.58	22.83±1.43^{b}	16.43±0.74
P 值 *P*-value	组别 Group	0.018 4	<0.000 1	0.019 9
	添加方式 Supplemental way	0.066 0	0.007 5	0.143 5
	添加水平 Supplemental level	0.085 0	0.014 8	0.249 3

添加方式×添加水平 Supplemental way × supplemental level	0.732 3	0.000 5	0.016 3

2.2 半胱胺对冬毛期雄性水貂营养物质消化率的影响

由表 4 可知，半胱胺添加方式和添加水平以及二者的交互作用对冬毛期雄性水貂干物质采食量、干物质排出量、干物质消化率和粗脂肪消化率均无显著影响（*P*>0.05）。与对照组相比，饲料中添加半胱胺极显著提高了粗蛋白质消化率（*P*<0.01）。

表 4　半胱胺对冬毛期雄性水貂营养物质消化率的影响

Table 4　Effects of cysteamine on nutrient digestibility of male minks in fur development period

项目 Items		干物质采食量 DM intake/（g/d）	干物质排出量 DM output/（g/d）	干物质消化率 DM digestibility/%	粗蛋白质消化率 CP digestibility/%	粗脂肪消化率 EE digestibility/%
组别 Groups	I	105.67±4.20	19.89±2.36	81.20±1.80	85.21±1.45^{Bb}	96.44±1.07
	II	103.17±3.02	19.18±0.80	81.40±0.77	88.05±0.54^{Aa}	96.24±0.95
	III	105.36±4.03	19.54±1.73	81.48±1.00	87.70±1.19^{Aa}	96.82±0.48
	IV	107.33±5.46	19.70±1.30	81.64±0.76	87.70±1.02^{Aa}	96.64±0.24
	V	110.35±4.03	20.09±0.93	81.77±1.03	87.61±2.47^{Aa}	96.37±0.81
	VI	104.99±7.29	18.60±1.92	82.32±1.00	87.87±1.11^{Aa}	96.78±0.41
	VII	107.29±4.72	19.59±2.03	81.74±1.76	88.46±0.74^{Aa}	96.78±0.59
添加方式 Supplemental way	连续 Continuous	105.29±4.39	19.48±1.23	81.51±0.81	87.82±0.93	96.57±0.64
	间隔 Interval	107.54±5.66	19.42±1.72	81.94±1.26	87.98±1.57	96.64±0.62
添加水平 Supplemental level/(mg/kg)	60	106.76±5.06	19.64±0.95	81.59±0.89	87.83±1.72	96.31±0.84
	90	105.17±5.62	19.07±1.81	81.90±1.05	87.78±1.10	96.80±0.43
	120	107.31±4.87	19.65±1.62	81.69±1.29	88.08±0.94	96.71±0.44
P 值 *P*-value	组别 Group	0.270 9	0.783 1	0.801 7	0.006 0	0.697 5
	添加方式 Supplementa	0.181 6	0.920 3	0.247 3	0.714 2	0.716 1

l way					
添加水平 Supplemental level	0.553 5	0.575 6	0.786 0	0.840 8	0.139 5
添加方式×添加水平 Supplemental way×supplemental level	0.125 1	0.339 7	0.712 1	0.548 3	0.923 7

2.3　半胱胺对冬毛期雄性水貂氮代谢的影响

由表 5 可知，与对照组相比，II、III、Ⅳ、Ⅴ、VI、VII组水貂粪氮排出量显著或极显著降低（*P*<0.05 或 *P*<0.01）。各半胱胺添加组氮沉积较对照组均有所提高，其中VI、VII组显著高于对照组（*P*<0.05）。净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值呈现相同的趋势，均以VI组最高，显著高于对照组及II、III组（*P*<0.05）。半胱胺添加方式显著影响水貂的氮沉积、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值（*P*<0.05），均以间隔添加组显著高于连续添加组（*P*<0.05）。半胱胺添加水平以及添加方式和添加水平的交互作用对冬毛雄性水貂的氮代谢均未产生显著影响（*P*>0.05）。

表 5　半胱胺对冬毛期雄性水貂氮代谢的影响

Table 5　Effects of cysteamine on nitrogen metabolism of male minks in fur development period

项目 Items		食入氮 N intake/(g/d)	粪氮排出量 FN output/(g/d)	尿氮排出量 UN output/(g/d)	氮沉积 N retention/(g/d)	净蛋白质利用率 NPU/%	蛋白质生物学价值 PBV/%
组别 Groups	I	6.63±0.26	1.01±0.07^{Aa}	4.90±0.27	0.71±0.01^{c}	10.74±0.39^{c}	12.67±0.47^{c}
	II	6.47±0.19	0.78±0.02^{Bb}	4.90±0.33	0.77±0.20^{bc}	11.87±2.90^{bc}	13.50±3.29^{bc}
	III	6.61±0.25	0.82±0.10^{Bb}	4.90±0.01	0.93±0.16^{abc}	14.08±1.87^{abc}	16.07±2.22^{abc}
	IV	6.73±0.34	0.83±0.09^{Bb}	5.13±0.24	0.78±0.29^{bc}	11.46±3.91^{bc}	13.06±4.44^{bc}
	V	6.92±0.25	0.88±0.14^{ABb}	5.11±0.34	0.93±0.33^{abc}	13.47±4.65^{abc}	15.36±5.12^{abc}
	VI	6.59±0.46	0.81±0.12^{Bb}	4.74±0.54	1.07±0.00^{a}	16.30±1.22^{a}	18.56±1.19^{a}
	VII	6.73±0.30	0.77±0.07^{Bb}	5.05±0.33	1.02±0.17^{ab}	15.23±3.14^{ab}	17.20±3.51^{ab}

添加方式 Supplemental way	连续 Continuous	6.61±0.27	0.81±0.08	4.98±0.25	0.83±0.22[b]	12.47±3.07[b]	14.21±3.51[b]
	间隔 Interval	6.75±0.36	0.82±0.12	4.97±0.42	1.01±0.21[a]	15.00±3.31[a]	17.04±3.68[a]
添加水平 Supplemental level/(mg/kg)	60	6.70±0.32	0.83±0.11	5.01±0.34	0.85±0.28	12.67±3.79	14.43±4.21
	90	6.60±0.35	0.81±0.11	4.82±0.37	1.00±0.13	15.19±1.90	17.32±2.14
	120	6.73±0.31	0.80±0.08	5.09±0.28	0.89±0.27	13.35±3.91	15.13±4.39
P 值 *P*-value	组别 Group	0.270 9	0.002 1	0.369 1	0.027 5	0.019 7	0.025 9
	添加方式 Supplemental way	0.181 6	0.717 6	0.946 9	0.019 2	0.023 1	0.022 9
	添加水平 Supplemental level	0.553 5	0.827 4	0.142 7	0.242 0	0.147 7	0.131 9
	添加方式×添加水平 Supplemental way×supplemental level	0.125 1	0.175 8	0.376 8	0.827 9	0.690 2	0.720 2

3 讨 论

3.1 半胱胺对冬毛期雄性水貂生产性能的影响

冬毛期水貂以毛皮的生长发育为主，因骨骼生长期已过，主要是肌肉的生长和脂肪的沉积，致使体增长缓慢。本试验结果表明，饲粮添加半胱胺可以提高冬毛期雄性水貂的平均日增重，间隔添加组较连续添加组提高 29%，不同添加水平之间无显著差异，但 90 mg/kg 组高于其他添加水平组；连续添加组的平均日增重随着添加水平的升高先升高后降低，间隔添加组则呈现持续升高的趋势，同时半胱胺添加方式和添加水平的交互作用对冬毛期雄性水貂的平均日增重产生了显著影响。以上结果说明半胱胺可以促进冬毛期雄性水貂的生长，且作用中存在一定的剂量-时间依赖效应。这与黄卉等[7]在毛皮动物貉上的研究结果一致。半胱胺的促生长作用与其调节机体内分泌功能直接相关，SS 水平的降低、生长激素（GH）水平的升高直接导致动物体重的增加[3,10]。有研究发现，低剂量的半胱胺抑制 SS 释放的同时促进 GH 的释放，而高剂量的半

胱胺对 GH 的释放具有抑制作用，主要通过影响 SS 释放的同时抑制生长激素释放因子的释放来实现[11]，这可能是导致IV组体增重降低的原因。此外，动物的生长还受营养因素的影响，有研究发现半胱胺可以提高饲粮营养物质消化率，提高动物生产性能，降低料重比[12]。本研究中，各半胱胺添加组水貂平均日采食量与对照组无显著差异，但料重比显著降低，与上述研究结果一致。

毛皮品质是评价冬毛期水貂生产性能的直接指标。本试验对冬毛期雄性水貂的皮长及针毛、绒毛长度进行检测，结果发现，水貂半胱胺添加组皮长及针毛、绒毛长度均有所增加，且均以VI、VII组添加效果较好，间隔添加组针毛长度较连续添加组提高 3.4%，不同添加水平之间以添加水平为 90 mg/kg 时最佳。综上可知，半胱胺对水貂毛皮品质有一定的改善作用。黄继卓等[13]研究发现，饲粮添加半胱胺提高了东北细毛羊的生产性能，降低了料重比，其中羊毛长度较对照组提高 9.1%，细度提高 6.2%，弹力也有所提升，且随着半胱胺添加水平的升高先增加后降低。徐军等[14]研究发现，饲粮间隔添加半胱胺使辽宁绒山羊绒和毛的自然长度分别提高 32.2%和 34.8%，毛细度提高 6.56%，绒细度降低 6.22%。白世平等[15]研究发现，饲粮连续添加半胱胺提高了冬毛期雄性水貂的皮长和皮重，其中皮重提高 23%。综上所述，饲粮添加半胱胺可以改善动物的毛皮品质，这可能与半胱胺分子内部的活性巯基有关。影响毛皮品质的因素很多，硫的供给成为毛角蛋白合成的限制性因素，无论有机硫或无机硫对毛皮品质都有一定的促进作用[16]。半胱胺不仅为机体提供硫元素，还参与机体内分泌调节，改善营养物质分配，可能通过综合作用提高水貂生产性能，具体机制还有待进一步研究。

3.2 半胱胺对冬毛期雄性水貂营养物质消化率的影响

动物采食量是动物自身状态与饲粮特性共同作用的结果，本试验中各组水貂平均日采食量不存在显著差异。营养物质消化率是评价饲粮营养物质利用率的最直观指标。本试验结果表明，饲粮添加半胱胺提高了冬毛期雄性水貂的干物质和粗蛋白质消化率，其中Ⅶ组的粗蛋白质消化率较对照组提高了 3.81%。营养物质消化率除与饲粮组成相关外，还与动物自身调节有关。冬

毛期水貂处于毛皮生长发育期，蛋白质作为其主要组成成分，是决定其生长的主要因素[17]。各半胱胺添加组毛皮品质较对照组有所提高，故蛋白质需要量升高，这可能是引起干物质和粗蛋白质消化率差异的原因。此外，营养物质消化率与胃肠道健康有关。有研究发现，半胱胺可以替代蛋氨酸和胱氨酸合成牛磺酸，促进动物生长，维护免疫系统，治疗消化系统疾病，有助于营养物质的消化利用[18]。H^+-K^+-ATP 酶，又称质子泵，是调节胃酸分泌的关键酶，胃酸是调节营养物质消化和吸收不可或缺的因素。Shi 等[19]研究发现，在体内和体外条件下，半胱胺均可以增强仔猪胃黏膜细胞 H^+-K^+-ATP 酶的表达和活性，进而促进胃酸的分泌。胃肠道消化酶活性也是影响营养物质消化吸收的重要因素，于青平[20]研究发现，饲粮添加一定量的半胱胺可以提高肠道淀粉酶、胰蛋白酶活性，但当超过一定剂量时，消化酶活性随之降低。本试验中 120 mg/kg 连续添加组营养物质消化率相比对照组有所升高，但较其他半胱胺添加组升高幅度较小，可能是半胱胺高剂量持续添加产生了一定的副作用。综合上述结果说明，半胱胺可以通过多种途径促进营养物质的消化吸收，进而提高动物的生产性能，符合以上生产性能分析结果。

3.3　半胱胺对冬毛期雄性水貂氮代谢的影响

常新耀等[21]研究发现，育肥期小尾羔羊饲粮中添加 0.15 g/kg 半胱胺可提高生产性能、营养物质消化率和氮沉积，其中氮沉积较对照组提高 8.7%。王成等[22]研究报道，饲粮添加半胱胺可促进育成期猪的生长，降低粪氮和尿氮排出量，提高氮沉积。本试验也得到一致结果，饲粮添加半胱胺显著或极显著降低了冬毛期雄性水貂的粪氮排出量，由于食入氮和尿氮排出量差异不显著，导致氮沉积升高，且氮沉积随着半胱胺添加水平的升高先升高后降低，间隔添加组显著高于连续添加组，提高 21.7%。氮沉积的提高说明半胱胺的添加使蛋白质合成速率大于其降解速率。饲粮蛋白质经过胃的消化，分解为小肽和氨基酸进入小肠，小肠对全身氮平衡起着至关重要的作用[23]，肠黏膜是肠道氮代谢的核心。低剂量的半胱胺可以保护肠黏膜，改善肠道功能，高剂量的半胱胺损害肠黏膜，引起肠道溃疡[24]。因此，半胱胺可能通过促进肠道氮代谢，提高饲粮蛋白质和氨基酸利用效率，进而提高氮沉积。此外，激素对蛋白质代谢调节也发挥着重要

作用，半胱胺可以改善机体内分泌调节，提高胰岛素样生长因子-I（IGF-I）、三碘甲腺原氨酸（T_3）、甲状腺素（T_4）等促进机体合成代谢类激素的水平，进而提高氮沉积[15]。净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值在一定程度上反映了饲粮蛋白质、氨基酸平衡状况，本试验中各半胱胺添加组该 2 项指标较对照组均有不同程度的升高，说明试验饲粮蛋白质水平可满足动物的需要，且半胱胺的添加提高了饲粮蛋白质利用率的。

4 结 论

饲粮添加半胱胺能够促进冬毛期雄性水貂的生长，并提高毛皮品质、营养物质消化率及氮代谢。综合各项指标，在本试验条件下，冬毛期雄性水貂饲粮中半胱胺的最适添加水平为 90 mg/kg，添加方式为间隔添加（连续添加 1 周，间隔 1 周）。

参考文献：

[1] 赵炳超,石波,李秀波,等.我国饲料添加剂的现状与发展趋势[J].饲料与畜牧,2006(2):24–26.

[2] PATEL Y C,PIERZCHALA I,AMHERDT M,et al.Effects of cysteamine and antibody to somatostatin on islet cell function *in vitro*.Evidence that intracellular somatostatin deficiency augments insulin and glucagon secretion[J].Journal of Clinical Investigation,1985,75(4):1249–1255.

[3] SZABO S,RCICHIN S.Somatostatin in rat tissues is depleted by cysteamine administration[J].Endocrinology,1981,109(6):2255–2257.

[4] 王胜林.生长抑素抑制剂-半胱胺对畜禽生长的影响与应用[J].兽药与饲料添加剂,2002,7(1):30–34.

[5] 王忠艳.半胱胺对育成期水貂生长和饲料转化率的影响[J].东北林业大学学报,2011,39(4):105–106,109.

[6] 王忠艳.半胱胺在银狐育成期、生长期和准备配种期饲料中的应用[D].博士学位论文.哈尔滨:东北林业大学,2006.

[7] 黄卉,郑银伟,刘志平,等.半胱胺对貉体质量及饲料利用效果的影响[J].东北林业大学学报,2015,43(3):107–108,116.

[8] NRC.Nutrient requirements of mink and foxes[S].2nd ed.Washington,D.C.:National Academy Press,1982.

[9] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[10] MCLEOD K R,HARMON D L,SCHILLO K K,et al.Effects of cysteamine on pulsatile growth hormone release and plasma insulin concentrations in sheep[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology,1995,112(3):523–533.

[11] TANNNBAUM G S,MCCARTHY G F,ZEITLER P,et al.Cysteamine-induced enhancement of growth hormone-releasing factor (GRF) immunoreactivity in arcuate neurons:morphological evidence for putative somatostatin/GRF interactions within hypothalamus[J].Endocrinology,1990,127(5):2551–2560.

[12] 孙占田,郭新珍,胡新旭,等.半胱胺和小肽对断奶仔猪生产性能、养分表观消化率和血清激素水平的影响[J].饲料工业,2013,34(22):5–8.

[13] 黄继卓,任道平,胡英爽.半胱胺和大豆黄酮对东北细毛羊生长性能和羊毛品质的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2009(6):54–55.

[14] 徐军,刘哲洁.日粮中添加半胱胺对辽宁绒山羊产绒性能的影响[J].中国畜牧兽医,2010,37(7):210–212.

[15] 白世平,袁缨,权志中,等.日粮中添加半胱胺对雄性水貂的生产性能、血液激素水平的影响[J].经济动物学报,2006,10(3):133–136.

[16] 赵国先,宋智娟,张晓云,等.毛皮质量的营养调控[J].中国饲料,2005(13):5–6,9.

[17] REIS P J.Effects of amino acids on the growth and properties of wool[M]//BLACK J L,REIS P J.Physiological and environmental limitations to wool growth.New South Wales:University of

New England Publications Unit,1979:185–242.

[18] 齐国山.饲料中牛磺酸、蛋氨酸、胱氨酸、丝氨酸和半胱胺对大菱鲆生长性能及牛磺酸合成代谢的影响[D].博士学位论文.青岛:中国海洋大学,2012:4–15.

[19] SHI Z M,DU G M,WEI X H,et al.Cysteamine increases expression and activity of H^+-K^+-ATPase of gastric mucosal cells in weaning piglets[J].World Journal of Gastroenterology,2005,11(42):6707–6712.

[20] 于青平.半胱胺对罗非鱼消化酶及内分泌调节的影响[D].硕士学位论文.福州:福建农林大学,2008.

[21] 常新耀,谢红兵,魏刚才,等.硼砂和半胱胺复合制剂对育肥羊生长性能、氮沉积、血清生化指标和体蛋白动态代谢的影响[J].核农学报,2009,23(4):703–710.

[22] 王成,王之盛,周安国,等.黄芪组方浓缩物和半胱胺对肥育猪生长性能和体蛋白动态代谢的影响[J].核农学报,2008,2(3):359–364.

[23] STOLL B,HENRY J,REEDS P J,et al.Catabolism dominates the first-pass intestinal metabolism of dietary essential amino acids in milk Protein-fed piglets[J].The Journal of Nutrition,1998,128(3):606–614.

[24] 何军,沈赞明,杨倩.半胱胺盐酸盐对断奶羔山羊小肠黏膜生长的影响及其抗氧化作用[J].中国兽医学报,2007,27(6):887–892.

Effects of Cysteamine on Performance, Nutrient Digestibility and Nitrogen Metabolism of Male Minks in Fur Development Period

FAN Yanyan SUN Weili WANG Zhuo SUN Haoran LIU Zhi YANG Fu LI Guangyu*

(*State Key Laboratory for Molecular Biology of Special Economic Animal*, *Institute of Special Animal and Plant Sciences*, *Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Changchun* 130112, *China*)

* Corresponding author, professor, E-mail: tcslgy@126.com

（责任编辑　菅景颖）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of cysteamine on performance, nutrient digestibility and nitrogen metabolism of male minks in fur development period. The experiment was designed in a double factorial experiment with the influence factors of cysteamine supplemental way and supplemental level. Fifty six male minks aged about 167 days were randomly divided into 7 groups with 8 replicates per group and 1 mink per replicate. The minks in control group (group Ⅰ) were fed the basal diet, the minks in groups Ⅱ, Ⅲ and Ⅳ were continuously fed the experimental diets supplemented with 60, 90 and 120 mg/kg cysteamine, respectively, and the minks in groups Ⅴ, Ⅵ and Ⅶ were fed the same diets as groups Ⅱ, Ⅲ and Ⅳ, respectively, but the supplemental way was interval addition (interval 1 week after continuously added 1 week). The adaptation period lasted for 7 days and the formal period lasted for 51 days. The results showed as follows: 1) the average daily gain of groups Ⅲ, Ⅴ, Ⅵ and Ⅶ was significantly higher than that of control group and group Ⅳ ($P<0.01$), and the feed/gain was significantly decreased compared with control group and group Ⅳ ($P<0.01$). The average daily gain and feed/gain in interval addition group were significantly better than those in continuous addition group ($P<0.01$). The feed/gain in 90 mg/kg group was significantly lower than that of 120 mg/kg group ($P<0.01$). The fur quality of cysteamine addition groups was improved, and the skin length and aciculum, villus length of groups Ⅵ and Ⅶ were significantly higher than those in control group ($P<0.05$). The aciculum length in interval addition group was significantly increased compared with continuous addition group ($P<0.01$), and that in 90 mg/kg group was significantly higher than that in 60 and 120 mg/kg groups ($P<0.05$). The interaction effect of cysteamine supplemental way and supplemental level significantly affected the average daily gain, feed/gain, aciculum and villus length ($P<0.05$ or $P<0.01$). 2) The crude protein digestibility in cysteamine addition groups was significantly higher than that in control group ($P<0.01$), but no significant differences in the dry matter and ether extract digestibility among groups ($P>0.05$). 3) The fecal nitrogen output of cysteamine addition groups was significantly decreased compared with control group ($P<0.05$ or $P<0.01$). The nitrogen retention of group Ⅵ was significantly higher than that of control group, groups Ⅱ and Ⅳ ($P<0.05$). The nitrogen retention, net protein utilization and biological value of protein in interval addition group was significantly higher than those in continuous addition group ($P<0.05$). In conclusion, dietary with cysteamine can promote the performance, and improve the fur quality, nutrient digestibility and nitrogen metabolism of male minks in fur development period. Comprehensive consideration of all indicators, the cysteamine in diets for male minks is appropriate to add at the level of 90 mg/kg at weekly intervals (interval 1 week after continuously added 1 week) in fur development period.

Key words: minks; cysteamine; performance; nutrient digestibility; nitrogen metabolism